

矿井水双碱软化预处理技术应用研究

韩明宪

甘肃万胜矿业有限公司 甘肃庆阳 745700

DOI: 10.12238/ems.v8i1.17695

[摘要] 矿井水因其复杂多变的水质成分, 给水处理带来显著挑战。双碱软化技术作为一种成熟的预处理方法, 在矿井水软化中显示出良好的应用潜力和效果。本文针对矿井水水质特点, 深入剖析了双碱软化技术的核心原理和工艺优势, 重点探讨了其运行中遇到的关键难题, 包括操作复杂性、副产物生成及设备维护等方面。基于实验数据和实际运行经验, 提出了工艺参数的精准调控和副产物控制的创新策略, 强调技术适应性和节能管理对提升软化效率的重要作用。本文不仅系统梳理了现有技术瓶颈, 更展望了预处理工艺对后续深度处理环节的积极促进, 力求为矿井水资源的高效利用提供切实可行的技术路径。

[关键词] 矿井水; 双碱软化; 工艺调控; 副产物控制; 节能管理

引言:

矿井水作为地下水资源的重要组成部分, 其水质复杂多样, 含有大量钙、镁等硬度离子, 及多种有害物质。未经有效软化处理, 矿井水在工业应用和生活用水中容易导致设备结垢、效率降低, 甚至影响人体健康。双碱软化技术因操作简便、效果稳定, 成为矿井水预处理的核心手段。然而, 矿井水的多变性使软化过程面临操作调控难、软化副产物处理复杂和设备维护负担重等问题。面对日益严苛的水质标准和环保要求, 传统工艺亟需优化和升级。深入理解矿井水成分变化规律, 精准掌握软化反应机理, 是构建高效、稳定软化系统的基础。本文基于大量数据和现场实践, 系统剖析双碱软化技术的瓶颈, 提出一系列科学且具前瞻性的改进措施, 旨在推动矿井水处理技术向智能化、节能化方向迈进。

1. 矿井水双碱软化技术研究背景

1.1 矿井水成分与软化需求分析

矿井水硬度高、杂质多, 主要是铁离子、锰离子超标, 硬度较高, 因此影响矿井水的工业用以及对环境的排放, 要求矿井水必须要进行软化, 不仅要软化矿井水的硬度, 而且还要求适应矿井连续生产排水的需要。通过对矿井水离子成分分析, 才能更好地指导矿井水采用双碱软化方式下的工艺设计。

1.2 双碱软化技术原理介绍

双碱软化法是利用碳酸钠和氢氧化钠 2 种碱性的混合搭配, 将碳酸钠中和部分钙离子产生碳酸钙沉淀; 氢氧化钠为矿井水碱化剂, 调节碱度, 将镁离子以氢氧化镁的形式生成沉淀, 达到去除钙镁离子的效果。二者相互搭配, 将两种碱

性物质充分结合起来, 能够更好地完成离子交换以及沉淀等工作, 减少水中所含的硬度, 利用这一技术可处理矿井水。充分认识这一技术的化学原理和水质参数的要求, 有利于相关工艺参数的有效控制, 同时提高处理效果和药剂及污泥控制。

2. 矿井水软化处理中存在的 key 问题

2.1 矿井水水质复杂性及影响因素

由于原水水质不稳定是软化处理的重点问题之一。原水水质中碳酸钙、钠离子、钙离子、镁离子、锰、铁等盐类, 硫酸根、氯离子等阴离子, 以及胶体、悬浮物等成分的含量因采煤深度、地质情况和排水周期的变化而随时变化。同时原水水质中有机物质及微生物等的含量也会随着时间周期的变化而变化, 这就严重影响了絮凝沉淀反应的过程。对水质变化量控制不完全造成软化工艺软水效果不稳定、反洗时上排压力无法及时调节、软水管道堵塞, 从而影响了软化处理的稳定运行, 增加了软化处理运行操作的不定性。

2.2 双碱软化工艺中的操作难点

虽然双碱软化过程原理清晰, 但实际操作中双碱软化系统对药剂量和投加时间的要求很高, 往往稍有不慎影响沉淀效果, 造成水质不合格, 另外软化反应速率及沉淀物的外形也受温度、pH 和离子强度等诸多因素的影响, 无法达到在线监测和工艺调节的动态过程调控; 而且在实际使用过程中还存在反应器结垢和沉淀物堵塞的问题, 影响正常生产, 增加运维成本。

2.3 设备维护及运行管理的挑战

由于矿井水软化设备在长期运行中, 易出现腐蚀和结垢

现象, 缩短软化设备的使用寿命和运行的稳定性, 由于设备材质与矿井水腐蚀性物质的兼容性较差, 造成设备维修频率较高、检修时间长。软化系统在运行中所需的操作人员的水处理专业知识和现场应变能力要求较高, 人员技术培训不到位、技术支持不足成为短板。数据监控系统缺乏完善的功能, 不能精细化管理, 增加了运行的风险与成本^[1]。

3. 矿井水双碱软化预处理技术的应用研究

3.1 软化效果提升的工艺参数调控

矿井水双碱软化的进一步优化则主要依靠针对矿井水的软化工艺, 严格地控制各项工艺参数, 对工艺流程进行适度、灵活地调整。科学的确定软化时添加碱剂的药剂质量分数是根据理论中的化学计算量的数值, 结合矿井水中各硬度离子和水中碱度的具体比例关系, 根据实际的水质情况进行微调, 确定软化时添加的碱剂与水质的要求的占比比例的合理性。确定在软化工艺时引入水质在线监测技术, 实时监控矿井水中钙、镁的含量以及总碱度等含量的信息, 并通过控制软化系统中碱剂的加入与控制反应液 pH 值的实时反馈值, 防止人为控制的碱剂添加比例固定问题, 从而造成相应的软化质量降低以及资源的浪费。该软化控制过程主要为对于矿井水中水体的软化效果更加显著, 从而将运行的风险性降低。对控制 pH 值进行科学控制的主要范围, 即 pH 范围越大, 沉淀所发生的硬度反应现象越显著, 最终反应的产物沉淀晶体会相应产生; 而当反应的 pH 值越小时, 容易造成生成的沉淀物不能充分地生成, 从而形成副产物的情况。通过 pH 值的调节主要控制软化系统的反应中对于碱剂的添加量和反应时间以及搅拌速率等因素进行调控, 软化时通过延长反应池中滤液中的停留时间与反应池混合的流速, 可以起到控制沉淀晶体沉淀的速度, 而这些参数中在经过相应控制和过程中通过软化工艺的控制也能够达到优化软化系统的动力学反应机制, 并找到具有最佳的平衡点^[2]。对于反应搅拌强度反应的调整中, 沉淀物体中的结晶过程有着显著的促进效果。通过变频控制搅拌机, 根据水质变化及过程的反应程度, 可自行调节搅拌转速实现快速软化, 而不会对沉淀颗粒造成扰动。对于软化生成的沉淀, 其粒径与形状特征也会根据工艺参数的变化情况进行调节, 从而有利于生成可快速分离的颗粒, 提高出水与污泥的分离率, 减小对后续工序的冲击。在对软化工艺的参数进行优化时, 应同时考虑节能减排的目标, 将能耗指标纳入到工艺的控制指标当中, 通过复合控制的方法,

防止出现因为某一项参数优化产生能源消耗, 真正地实现通过数据分析来指导参数优化, 从经验型向数据型转变, 通过神经网络等控制技术, 结合历史经验数据以及现场数据信息, 判断当前参数的变化, 进而优化后续参数的调节, 实现对软化效果的持续优化。从本质上讲, 软化参数优化是软化效果提升的核心, 其策略的关键是优化工艺参数的适应性控制, 形成良性闭环, 实现每一次投加和反应都达到高能率、低成本的目的。

3.2 软化过程中副产物的控制措施

副产品的控制既要从反应过程也要从产物特性出发。首先, 优化副产物的成分和形态为前提, 通过改变碱剂种类和碱剂投加顺序, 实现碱剂分批投加或分段反应, 各阶段碱剂仅发生相关的化学反应, 优先生成主要硬度离子的沉淀物, 抑制难溶型副产物的生成; 而适当优化碱剂浓度梯度, 则降低了系统内局部超饱和环境, 降低了副产物非规则沉淀物的生成, 有助于提高系统内整体沉淀效率。从副产物产物的物理性状角度出发, 对控制结晶产物形貌特征和尺寸大小来抑制副产物是控制副产物的核心, 优化反应时间、pH 和温度控制, 促进反应结晶生长尺寸相对均匀, 避免粗细不一的悬浮颗粒物的形成。借助于加助凝剂和絮凝剂, 促进沉淀物生成的凝聚速率, 从而加快过滤进程, 减少沉淀物进入滤池后不易排出。进一步控制软化运行稳定性和避免运行期间副产物产生的堵塞和磨蚀。其次, 将副产物的来源做成副产物再次循环利用的工艺, 从沉淀废渣的化学成分出发, 回收其中可以再利用的物质, 这样不但降低了对环境的影响, 也体现了资源的回收再利用。然后开发相关的沉淀物处理和副产品回收利用流程, 整合软化系统与沉渣处理单元的资源循环和水处理整体流程, 提高软化系统的整体综合利用水平。

3.3 不同矿井水水质条件下的适应性

矿井水水质具有较大差异性, 而双碱法适应性的主要技术特点是以系统可变性和工艺参数可控性为基础。各模块化软化单元的配合组合和参数变更可以灵活地适应不同水质。针对不同矿井水中钙镁离子浓度及碱度、杂质含量的分布, 设定相应的碱剂浓度与反应参数, 使得软化反应在同一系统中适应各矿井水的水质, 保证各项参数满足软化的要求。水质在线检测分析及数据库构成与大数据分析是双碱法在适应性上的一大特点。通过水质在线检测分析, 建立水质参数数据库, 通过水处理数据分析和预测来实现工艺参数的预调节。

应用预先计算和预检测数据形成一种闭环的程序，依据智能计算逻辑得出结论，并调整药剂浓度、反应时间、pH等参数，实现降低因水质参数变化导致的软化处理过程出现意外的效果，减少误差，实现多级净水装置的系统控制。这是一个非常灵活的自适应运行方案，建立和形成相关自适应工艺数学模型，采用数据驱动模型的决策机制替代经验管理模式，使软化系统能够依据水质大数据实现出更好的适应变化性能^[4]。针对极少数矿井水中存在的重金属类、硫化物及金属离子等物质的含量，改变原有软化工艺的反应环境，同时加入针对性药剂，使得软化过程与协同反应具有更好的适应性。同时，可在软化工艺反应区域设计联合的过滤、吸附反应系统，避免单纯改变软化工艺引起其他污染物处理的效率降低。设备配置方面，在设备选型中应考虑兼容设计，预留后续工艺升级的接口与空间，避免引进其他先进技术带来的系统兼容性不良问题。矿井水双碱软化技术智能化适配模块通过融合系统化、智能化监测及复合化工艺进行系统建设，是实现软化系统稳定运行及高效处理，更有效指导矿井水资源差异化配置的技术基础，促进矿井水处理的技术提升及智能化、良性发展。

3.4 软化系统的运行效率及节能方案

软化系统优化、提高软化运行效能是经济型和环境友好型系统追求的目标。首先提高药剂投加配比的合理性是软化运行效能提高的主要措施。利用矿井水在线监测的相关数据建立软化药剂投加的软性控制模型，在保证软化处理效果的前提下实现碳酸钠和氢氧化钠投加精确控制，既避免对碳酸钠和氢氧化钠投加药剂的浪费，又不至于对水质的硬度去除率有较大影响。此控制模型应与水质运行控制相关参数的变化趋势相结合，在此基础上利用机器学习等方法实现实时软化药剂投加自适应性调节，克服传统药剂投加等经验性调节的弊端。其次软化系统运行的设备和装置方面可以采取一体化产品或模块式产品进一步提升软化系统中软化设备的停机检修时间，提升系统灵活性。在软化设备设施中反应器结构的优化，搅拌速率和停留时间的变化，更有利于沉淀反应的充分进行，提升系统的反应处理效能。此外，针对软化装置设备设施各环节可能存在的能耗进行优化设计，从药剂配置、药剂混合反应、沉淀分离全过程减小能耗损失。高效节能的搅拌机设计与药剂混合反应设备、变频驱动药剂投加的电机等设备，减少系统和设备的耗电量，提升软化系统运

行的电动机响应灵敏度。合理利用剩余热能，例如软化过程中产生的废热，采用余热回收用于软化药剂加热或药剂搅拌过程中的温度控制，减少外部能量的消耗。此外，从软化池的软化水处理的自动化控制系统的能耗监测的软化池自动控制和运行流程中，实时优化运行管理机制，避免软化池运行过程的能耗浪费。在泥水分离这一环节可采用高效泥水分离设备、泥水分离机制等设备，及时脱水或机械压滤脱水和过滤，进一步降低分离的出泥水分，减少污泥后期的污泥处置能耗等损失。最后长远来看，建议加大软化水质和水处理技术的绿色高效发展，或可利用绿色碱类替代传统的软化药剂实现减轻化学软化负荷，使软化系统节能降耗。立足矿区实际，对多种情况下的能耗经济性分析，制定标准化运行指导，保证节能措施合理、节能效果持续提升。软化系统的信息化、智能化将成为提高效率和节能效果的重要契机。

结束语：

双碱法矿井水预处理技术的应用价值毋庸置疑，充分应用该技术的关键在于对具体工艺细节的把握，开展精细的工艺应用。针对水质的复杂性问题以及副产物问题开展的工艺改进能够更好地改善预处理工艺效果，同时能确保系统运行的安全高效，具有更长的应用周期。通过对工艺参数以及能耗等方面的调整，能够更有效地拓展技术应用适应范围，实现矿井水预处理技术效率水平的整体提升。预处理技术的开展为后续矿井水预处理打下基础，能够更好地支持矿井水处理循环利用以及环境保护工作的开展。新时期，深化工艺技术创新工作，以智能化监测与自动管理开展技术应用方面的优化，将是全面提高矿井水双碱法预处理技术应用水平的关键所在，只有将矿井水双碱法预处理技术与具体应用实践结合起来，才能够真正促进矿井水技术的更加高效安全运行。

[参考文献]

- [1]何绪文，王绍州，张学伟，等. 煤矿矿井水资源化绿色短流程关键技术与装备[J]. 煤炭学报，2024，49（2）：958-966.
- [2]孙亚军，熊小锋，陈歌，等. 煤矿矿井水水质形成及演化的水动力场-水化学场-微生物场耦合作用与数值模拟[J]. 煤炭学报，2024，49（2）：941-957.

作者简介：韩明宪，出生年月：1985年1月，男，籍贯甘肃庆阳，学历本科，职称工程师，研究方向：煤矿污染防治及废弃物综合利用。